

Самойленко Наталья Эдуардовна,

к.т.н., доцент;

Потапов Степан Сергеевич,

студент;

Чепрасов Игорь Викторович,

студент,

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,

г. Воронеж, Россия

МНОВОВАРИАНТНЫЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ В SOLIDWORKS

Современные 3D САПР широко применяются на предприятиях радиотехнического профиля, однако их возможности используются далеко не в полном объеме – фактически на 30-40% от реальных функций, реализованных в приобретённой пользователем системе. Чаще всего разработчики реализуют средствами САПР традиционную методику проектирования (получают первый приемлемый с точки зрения вариант изделия и заканчивают проектирование), либо последовательно улучшают последний рассмотренный вариант. Процедуры многовариантного анализа и оптимизации, выбора одного или нескольких лучших вариантов конструкции по одному или нескольким критериям, а также ведение архива проектов средствами PDM систем, к сожалению, остаются нереализованными.

Целью работы является апробация методики полного цикла автоматизированного проектирования, который включает:

- формирование 3D модели изделия;
- инженерный анализ конструкции;
- верификация точности расчетов;
- выбор наилучших вариантов конструкции по результатам многовариантного анализа и оптимизации;
- разработка подсистемы ведения архива проектов.

Верификация инженерного анализа изделия проведена на примере теплового анализа путем сравнения результатов расчёта с аналитическими

данными и результатами испытаний, проведенных на стенде. В качестве объекта проектирования выбрана система контроля показателей морской среды, предназначенная для наблюдения, регистрирования и передачи параметров морской среды с помощью специальных датчиков, таких как датчик давления и температуры, размещенных в корпусе устройства, а также внешних подключаемых анализаторов. Такими анализаторами могут служить датчики нефтепродуктов и других посторонних веществ, измерители pH, жесткости и других параметров морской воды. Размещение этих типов сенсоров вне корпуса изделия обусловлено их большими габаритами.

Система контроля показателей морской среды также оснащена оборудованием для самомониторинга, например, датчиками измерения внутренней температуры, влажности, давления, положения устройства в пространстве, ускорений, ударов и вибраций. Это необходимо для наблюдения, своевременного выявления неисправностей, их устранения и поддержания рабочего состояния устройства в целом.

Для проектирования и исследования конструкции устройства была выбрана система автоматизированного проектирования Solidworks, в некоторых анализах также использовалась CAD система PTC Creo.

При создании модели изделия было рассмотрено, построено и анализировано несколько вариантов конструкции. Первоначальный вариант корпуса устройства представлял собой часть трубы, закрытую с обеих сторон крышками эллиптической формы.

Данная конструкция себя не оправдала, вес получился довольно большим, а прочность низкой. Добавление варьируемого количества рёбер жесткости и колец различных геометрических размеров и проработка всех возможных вариантов конструкции с помощью исследования проектирования, также не принесло результатов. Значительные напряжения скапливались в областях под рёбрами и между ними, масса одной только трубы при этом составляла около 35 кг, а сварочные работы по установке рёбер лишь

усложняли и увеличивали время производства. Поэтому было принято решение применить для изготовления корпуса более легкий и прочный сплав титана.

При схожих геометрических размерах труба весила около 22 кг и гораздо лучше переносила нагрузки. Оборудование предполагалось помещать и закреплять в корпусе изделия по своеобразной лифтовой системе.

Все элементы системы фиксировались на каркасе – «лифте» и опускались по направляющим – «шахте» – в трубу, где закреплялись. Также были предусмотрены демпфирующие элементы в торцах крышек и на плоскостях «лифта» для гашения возможных колебаний и обеспечения плавного хода каркаса по направляющим во время выгрузки и погрузки.

Такая конструкция обеспечивала лёгкость монтажа, обслуживания и была технологична, но имела серьезные недостатки. Так как сварка титана – очень сложный процесс производства, а внедрение в конструкцию трубы отверстий для крепления шахты приводило к уменьшению ее прочности или увеличению размеров и веса, было принято решение интегрировать шахту во внутреннюю поверхность трубы. Для этого предполагалось на внутренней части трубы фрезерованием вырезать направляющие каналы, внутренние фланцы и скругления. Но такие операции оказались чрезвычайно дорогостоящими и трудновыполнимыми, заготовка толстостенной титановой трубы также имела высокую стоимость, поэтому этот вариант конструкции был исключён.

Выбор крышек именно сферической формы не случаен, тела, имеющие округлые формы гораздо лучше переносят высокие давления, за счет того, что напряжения и энергии в них распределяются равномерно, и не имеют ярко выраженных пиков, следовательно, возникновение случайных деформаций менее вероятно. Все сосуды высокого давления, глубоководные аппараты и даже мины содержат в своей конструкции сферические формы. Исходя из этого, было принято решение принципиально изменить конструкцию корпуса устройства в пользу шарообразной.

Две полусферические крышки с наваренными на них внешними фланцами предполагалось закреплять непосредственно друг с другом болтовым

соединением, а все оборудование заключать в полости внутри получившегося корпуса. При той же толщине и диаметре металла, что и у первоначальной трубы, полусферическая крышка выдерживала внешнее давление морской среды со значительным запасом по прочности, а совокупная масса всего корпуса из сплава 12X18H10T оставалась равной около 35 кг.

На начальном этапе было решено не отказываться от «лифтовой схемы» и приварить направляющие конструкции из тонкого листового металла внутри крышек.

Для проведения кабельных трасс было необходимо делать отверстия или вырезы, или изменить форму опорных частей направляющих уголков, что приводило к непременному скоплению высоких напряжений в листовых деталях. Их утолщение привело бы к увеличению массы конструкции и усложнению сварных работ, скругления же достаточного для погашения пиков напряжения радиуса занимали и так небольшое полезное пространство внутри сферы, поэтому этот вариант конструкции был отвергнут.

В конечном счёте, лифтовая система была исключена, на смену ей пришел несущий диск.

Этот несущий диск сложной формы закрепляется на внутреннем фланце одной из сферических крышек болтовыми соединениями, а все оборудование, используемое в устройстве, фиксируется на нем. Количество сварочных работ было сведено к минимуму, монтаж и обслуживание максимально облегчены, стоимость и трудоемкость производства снижена, а прочность повышена, за счет исключения слабых звеньев конструкции.

Так как устройство размещается на глубине до одного километра в морской воде, оно должно обладать как минимум двумя важными свойствами: герметичностью и высокой прочностью. Для проведения испытания на герметичность необходимо специальное оборудование и сложная методика, в то время как рассчитать прочность конструкции любой сложности можно с помощью современных САПР.

Максимальное давление на глубине тысячи метров в морской среде достигает 10 Мпа, непосредственному воздействию давления подвергаются все внешние поверхности конструкции, а затем и внутренние ее части. Исходя из этого, установим в режиме статического анализа САПР Solidworks Simulation внешнюю нагрузку в виде давления, и закрепим между собой части корпуса по фланцу, как это происходит в действительности.

Для текущей модели максимальное напряжение по Мизесу составляет около 330 Мпа, что практически вдвое ниже предела прочности материала 12Х13 (700 МПа) и в полтора раза ниже предела текучести (550 МПа). Это означает, что конструкция удовлетворяет критерию запаса прочности 1,2 с избытком.

Как стало очевидно из проведенных инженерных анализов, некоторые элементы конструкции были спроектированы с избыточными показателями прочности, заложенная в них стойкость к внешним нагрузкам обеспечивается за счет их излишней толщины и массивности, а, следовательно, и веса. Исправить сложившуюся ситуацию может помочь процедура оптимизации. Хотя анализ помогает быстро и дешево смоделировать цикл проектирования изделия на компьютере, все равно необходимо создать несколько исследований и смоделировать множество сценариев. После каждого изменения необходимо выполнить анализ и проверить результаты. Даже в самой простой конструкции может быть несколько размеров, которые могут быть изменены. Выбрать комбинацию параметров, вести учет изменений и просматривать результаты бывает довольно трудно.

При использовании параметрических и моделирующих функций программы Solidworks и возможностей автоматической регенерации во время выполнения исследования проектирования удастся автоматизировать процесс оптимизации. В САПР имеется технология быстрого выявления тенденций и поиска оптимального решения с наименьшим количеством прогонов. Программа использует метод на основе Планирования опыта.

Очевидно, что в ходе выполнения многокритериальной оптимизации сложность вызывает именно определение весов критериев, особенно если эти критерии являются противоборствующими, как в нашем случае температура и масса. Но значительным плюсом этого исследования является то, что с помощью него можно спроектировать какую-либо деталь по заданным критериям, лишь указав, какой из них важнее. САПР самостоятельно переберет все возможные варианты конструкции и предложит оптимальный.

Роль несущего каркаса в данной конструкции играет алюминиевый диск, закрепленный на внутреннем фланце нижней крышки. Кроме структурной нагрузки от веса расположенных на нем элементов, он испытывает еще и тепловые нагрузки и является элементом системы охлаждения. Как уже говорилось выше, конструкция получилась излишне массивной и прочной, и ее необходимо облегчить, но изменять ее геометрию без контроля температурных показателей нельзя, что бы не нарушить тепловой режим. Создадим вырезы на верхней и боковой поверхности диска. В новом оптимизационном исследовании в качестве переменных укажем глубину этих вырезов и шаг. В качестве датчика выступает максимальная температура по модели. Для большей наглядности усугубим условия, увеличив тепловую мощность блока питания на 40 Вт. Целями являются минимизация массы диска и температуры устройства. Изначальный вес обоих критериев составляет 5 единиц, масса детали до оптимизации 2,87 кг. В результате первого запуска САПР определила оптимальный вариант с минимальными по глубине вырезами и максимальной массой (2,87 кг) и самой низкой температурой (316 K).

Очевидно, что вес термического критерия слишком велик по отношению к массовому. Изменим вес критерия минимизации температуры на 2,5, а критерия минимизации массы на 7,5. В результате второго запуска ситуация изменилась не сильно, была выбрана модель с минимальной глубиной боковых вырезов, глубиной верхних вырезов 7 мм и масой 1,98 кг, температура при этом составила 318 K.

Увеличим вес критерия минимизации массы до 9, а критерий минимизации температуры уменьшим до 1, что бы еще снизить массу конструкции.

По итогам третьего запуска была найдена оптимальная модель со сквозными вырезами на верхней части и минимальными на боковой, масса при этом снизилась с 1,98 кг до 1,83, а температура составила 318,7 К. Полученная модель полностью удовлетворяет заданным условиям.

Благодаря полному использованию возможностей современных САПР, становится возможным значительное повышение эффективности процесса проектирования и оптимизации различных конструкций, в том числе конструкций систем охлаждения электронных средств. В рамках данной работы удалось добиться снижения массы конструкции паяного биметаллического радиатора практически в два раза, что позволяет с уверенностью сказать о необходимости и целесообразности применения описанных в статье методов в широком производстве.

Таким образом, в результате работы:

- проведена верификация результатов теплового анализа;
- разработана методика полного цикла автоматизированного проектирования в Solid Works;
- в рамках данной методики разработана система контроля показателей морской среды;
- выполнена апробация процедур многокритериальной оптимизации проектирования изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюлин Г.В. Оптимизация конструкции системы охлаждения электронного модуля / Г.В. Бирюлин, В.И. Егоров, С.Ю. Муров, И.В. Невский // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2012. – №3. – С. 61-64.
2. CadLife [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cad.life/index/rascheti/formulirashcheta-radiatora-oxlazhdeniya.html>